

Міністерство освіти і науки України
Національний авіаційний університет

ТУГАЙ ТЕТЯНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 624.012.045

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЖОРСТКОСТІ ПЛОСКОНАПРУЖЕНИХ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СКЛАДЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Колчунов Володимир Іванович,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри комп'ютерних технологій будівництва.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Павліков Андрій Миколайович,
Полтавський Національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка,
завідувач кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій
та опору матеріалів;

кандидат технічних наук,
Гурківський Олександр Борисович,
Державне підприємство
«Державний науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
завідувач лабораторії надійності будівельних конструкцій.

Захист відбудеться “___” травня 2015 р., о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради **К 26.062.12** Національного авіаційного університету (НАУ) за адресою: 03058, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, корпус 5, ауд. 5.303.

З дисертацією можна ознайомитися у Науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету (НАУ) за адресою: 03058, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий “___” квітня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради К 26.062.12
к.т.н., с.н.с., доц.

Д. Е. Прусов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Плосконапружені збірно-монолітні залізобетонні конструкції та конструкції, які підсилюються при реконструкції будівель і споруд, мають різні фізико-механічні характеристики для кожного з шарів бетону. Тому у зоні з'єднання шарів має місце збурення напружено-деформованого стану, яке віддзеркалюється на опорі кожної складової шляхом урахування умовного зосередженого зсуву. Методики такого урахування задовільно розроблені тільки для стрижневих елементів. Щодо вдосконалення розрахункової моделі за жорсткістю плосконапружених залізобетонних складених конструкцій (ПЗСК) із утвореними різними тріщинами, то такі дослідження тільки розпочато.

До теперішнього часу в діючих будівельних нормах із проектування відсутні конкретні рекомендації щодо раціонального армування несучих стінових конструкцій, які експлуатуються у складних інженерно-геологічних умовах, відсутні фактичні дані про взаємні зсуви “старого” і “нового” бетону у зонах, прилеглих до шва; не вивчені ефекти, пов'язані з порушенням суцільності бетону. Все це потребує постійного трудомісткого експериментування при вдосконаленні методики розрахунку.

У зв'язку з широким застосуванням залізобетонних складених конструкцій стінових панелей, пілонів, балок-стінок, плосконапружених конструкцій спеціальних підземних споруд, опорних і прогонних конструкцій мостів, діафрагм жорсткості багатоповерхових будівель, атомних і гідроелектростанцій (на частку несучих стін припадає понад 40% загального обсягу залізобетону, а відновлювальний ремонт і закладення тріщин у стінах представляє складну та вартісну задачу) при сучасному прискоренні термінів введення в експлуатацію, розробка методики розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій за наявності тріщин стає вельми важливою не тільки при розрахунку за одним із граничних станів другої групи, а й для визначення внутрішніх зусиль у цих статично невизначених системах, де вони безпосередньо залежать від жорсткості.

Жорсткість залізобетонних плосконапружених складених конструкцій, перш за все, пов'язана з наявністю різних типів тріщин, які також є головною причиною перерозподілу зусиль у ПЗСК.

Враховуючи те, що на сьогоднішній день розробка скінченно-елементної моделі залізобетону у розрахунку плосконапружених залізобетонних конструкцій з урахуванням нелінійного деформування вже досягла достатньо високого рівня, то при побудові методики розрахунку їхньої жорсткості, доцільно використовувати існуючі програмні комплекси загального призначення і, в першу чергу, програмного комплексу (ПК) «Ліра-САПР». При цьому виникає накопичена протягом багатьох років необхідність оцінки впливу тріщин на жорсткість, деформації та переміщення ПЗСК, а не тільки стрижневих елементів, що згинаються та чинять опір повздовжнім силам (для яких вони досліджувалися більш, ніж півстоліття).

Таким чином, для проведення аналізу дійсної роботи складених панелей у будівлях необхідна розробка класифікації виникаючих тут різних тріщин та вивчення характеру їхнього розвитку і розкриття. Безумовно, необхідно знехтувати передумовами, які пов'язані з тим, що ПЗСК працюють як єдине ціле.

Отже, розробка методики розрахунку жорсткості ПЗСК з метою їхнього вдосконалення є нагальною потребою сучасного будівництва.

Підводячи підсумок вищезазначеному, можна констатувати, що експериментально-теоретичні дослідження та розробка методики жорсткості ПЗСК із тріщинами є вельми **актуальною задачею**. Рішення цієї задачі може розглядатися, як помітне досягнення у розвитку методів розрахунку плосконапружених залізобетонних складених конструкцій.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Національного авіаційного університету у рамках наукових досліджень кафедри за держбюджетною темою № 6/10.01.02 "Новітні технології проектування залізобетонних конструкцій, що зводяться та експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах".

Тема дисертаційної роботи відповідає актуальним напрямам науково-технічної політики у галузі оцінювання технічного стану будівель та споруд відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 5 травня 1997 року №409 «Про забезпечення надійності й безпечної експлуатації будівель, споруд та інженерних мереж».

Мета дослідження. На основі проведення, аналізу та узагальнення експериментів, побудови робочих передумов, що найбільш повно відображають дійсний напружено-деформований стан, розробити розрахункову модель жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій, що відбиває формування різних типів тріщин та базується на спеціальних двохелементних моделях із швами-тріщинами, які моделюють силові і деформаційні дії при врахуванні ефекту порушення суцільності, обурень у шві та надає можливість використання найбільш досконалих програмних комплексів.

Задачі дослідження:

- на підставі виконаного огляду досліджень, узагальнення та аналізу зібраних результатів експериментальних і теоретичних даних, розробити розрахункову модель оцінки жорсткості ПЗСК із різними тріщинами та урахуванням умовних зосереджених зсувів у шві між бетонами та ефектом порушення суцільності бетону;

- підготувати методику та провести власні експериментальні дослідження для перевірки запропонованого розрахункового апарату жорсткості ПЗСК із урахуванням ефекту порушення суцільності бетону та умовних зосереджених зсувів у шві між бетонами;

- виконати чисельні дослідження та порівняльний аналіз запропонованої методики розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених

конструкцій із експериментальними даними та існуючими методиками розрахунку.

Об'єкт дослідження: опір залізобетонних плосконапружених складених конструкцій промислових і цивільних будівель та споруд.

Предмет дослідження: жорсткість залізобетонних плосконапружених складених конструкцій за наявністю різних типів тріщин.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше отримана класифікація базових тріщин плосконапружених залізобетонних складених конструкцій.

2. Розроблена методика визначення жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій із різними тріщинами, яка базується на сформульованих робочих гіпотезах та включає:

- нову класифікацію базових тріщин;
- запропоновану модель тріщини з урахуванням ефекту порушення суцільності та її реалізацію у ПК «Ліра-САПР»;
- запропоноване спеціальне моделювання шва (з використанням двохелементної розрахункової моделі при узгодженні її параметрів з експериментальними даними) між шарами бетону із застосуванням можливостей ПК "Ліра–САПР" для визначення напружено-деформованого стану;
- удосконалено розрахункову двохелементну консольну модель, за допомогою якої виконується послідовний ітераційний аналіз напружено-деформованого стану плоских скінченних елементів, розташованих за траєкторією тріщини, яка реалізована "розшиванням" і деформаційним впливом з урахуванням ефекту порушення суцільності бетону;
- удосконалено багаторівневий процес розвитку різних тріщин і розрахункову модель їхньої рівневої появи, яка дозволяє відшукувати відстані між тріщинами, ширину їхнього розкриття та проекцію на горизонталь, як функцію багатьох змінних, із урахуванням несумісності деформацій бетону та арматури, ефекту порушення суцільності з реалізацією у ПК «Ліра-САПР».

3. Розроблена методика та отримані результати проведених автором експериментальних досліджень плосконапружених залізобетонних складених конструкцій за різним характером армування і класах бетону, які помітно доповнюють накопичений дослідний матеріал.

4. Розроблений алгоритм та отримані результати чисельного та порівняльного аналізу при варіюванні схем навантаження (в тому числі сейсмічних впливів), армування, класів бетону, які дають повну уяву про ефективність запропонованої методики розрахунку жорсткості ПЗСК із різними тріщинами та покладених до її основи передумов.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблена методика жорсткості ПЗСК за наявності різних тріщин із урахуванням параметрів і особливостей деформацій арматури і бетону дозволяє отримати рішення для ефективного використання матеріалів.

Впровадження результатів роботи. Результати дисертаційної роботи використані при розробці державних нормативних документів ДБН В.1.1–12–2014 "Будівництво у сейсмічних районах України"; при удосконаленому

розрахунку плосконапружених складених залізобетонних конструкцій у проекті реконструкції виробничих будівель по вул. Шевченка, 30–є м. Зіньків, Полтавської області та впроваджені у навчальний процес Національного авіаційного університету при вивченні дисциплін "Будівельні конструкції", "Залізобетонні і кам'яні конструкції", "Реконструкція будівель і споруд аеропортів" для студентів, які навчаються за спеціальністю "Промислове і цивільне будівництво".

Методи дослідження. Використовується експериментально-теоретичний метод. Під час виконання теоретичних і чисельних досліджень, використані загальні методи механіки твердого деформованого тіла, теорії залізобетону та найбільш досконалі програмні комплекси, зокрема ПК «Ліра-САПР».

Особистий внесок здобувача:

- отримані робочі положення розрахункової методики для визначення жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій [5, 10] за наявності різних тріщин, яка базується на сформульованих робочих передумовах із урахуванням міжсередовищних зосереджених зсувів у шві між шарами бетону та ефекту порушення суцільності бетону [5, 7, 8, 10];

- розроблена методика та отримані результати експериментальних досліджень жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій при різних характеристиках армування та класах бетону [1, 6, 9];

- побудований алгоритм розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій з різними тріщинами та отримані результати їхнього порівняльного аналізу з експериментом та існуючими методиками розрахунку [2–4, 11, 12].

Достовірність отриманих результатів та висновків забезпечується:

- розрахунковою моделлю жорсткості ПЗСК з різними тріщинами, побудованій на основі закономірностей механіки твердого деформованого тіла, теорії залізобетону з використанням багаторазово перевірених найбільш досконалих програмних комплексів і реальних залежностей деформування;

- результатами порівняльного аналізу параметрів жорсткості із використанням запропонованої методики розрахунку ПЗСК із експериментом і розрахунками за існуючими методиками, що набули найбільшого застосування в реальному проектуванні;

- ступенем ефективності розрахункових залежностей жорсткості ПЗСК з різними тріщинами, використаних у практиці проектування плосконапружених залізобетонних складених конструкцій будівель і споруд.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися на: міжкафедральному семінарі кафедри комп'ютерних технологій будівництва та кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Інституту аеропортів Національного авіаційного університету (м. Київ, 10 лютого 2015 р.), на кафедрі комп'ютерних технологій будівництва Інституту аеропортів Національного авіаційного університету (м. Київ, 23 грудня 2014 р.), XI Міжнародній науково-технічній конференції "Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація" (м. Полтава, 27–31 жовтня 2014 р.), I Міжнародному науково-практичному

конгресі "Міське середовище – ХХІ сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн" (м. Київ, НАУ, 10–14 лютого 2014 р.), Восьмій міжнародній науково-технічній конференції "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди", присвяченій 50-річчю з дня заснування учбово-наукового інституту будівництва та архітектури (м. Рівне, жовтень 2014 р.), Дев'ятій Всеукраїнській науково-технічній конференції "Будівництво у сейсмічних районах України", (м. Ялта, 04–08 червня 2012 р.), на III Міжнародній науково-практичній конференції "Аеропорти – вікно в майбутнє" (м. Київ, НАУ, 15–16 червня 2012 р.).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 12 наукових роботах, з яких: 11 наукових робіт у спеціалізованих професійних виданнях, затверджених переліком ДАК України, в тому числі 3 наукових статті, які включені до міжнародних наукометричних баз, 1 стаття в іноземному професійному виданні, яке входить у міжнародні наукометричні бази.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури зі 185 найменувань, 1 додатку. Повний обсяг роботи складає 210 сторінок, у тому числі 134 сторінки основного тексту, який ілюструється 81 рисунком, містить 9 таблиць, 50 повних сторінок з рисунками і таблицями, 23 сторінки списку використаної літератури та 3 сторінки додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** проаналізовано роботи, виконані при дослідженні жорсткості та тріщиностійкості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій.

Значний внесок у побудову розрахункового апарату залізобетонних конструкцій внесли А. М. Бамбура, М. С. Барабаш, В. М. Бондаренко, Г. М. Брусенцов, О. О. Гвоздєв, Г. О. Генієв, О. Б. Голишев, О. С. Городецький, О. Б. Гурківський, П. Ф. Дроздов, В. С. Дорофєєв, О. С. Залєсов, В. С. Здоренко, М. І. Карпенко, С. М. Карпенко, С. Ф. Клованіч, Н. В. Ключєва, В. І. Колчунов, С. Б. Косіцин, Е. Н. Кодиш, А. І. Козачевський, Л. Л. Лемиш, М. Г. Мар'єнков, В. І. Мурашев, Я. М. Немирівський, Ю. І. Немчинов, І. К. Нікітін, А. М. Павліков, В. С. Рокач, І. О. Рохлін, Р. С. Санжаровський, М. В. Савицький, О. С. Сахаров, Л. І. Стороженко, І. А. Яковенко та ін.

Теоретичні та експериментальні дослідження залізобетонних складених конструкцій у своїй переважній більшості базуються на передумові про абсолютно жорсткий шов сполучення між елементами – роботи Д. О. Астаф'єва, І. В. Балдіна, Г. В. Коренькова, А. Е. Кузмічова, П. О. Літовченка, А. І. Мальганова, Н. О. Мітякіна, В. С. Плевкова, Я. Г. Сунгатулліна, Н. Д. Черниша та ін., що, як правило, призводить до відчутної розбіжності результатів розрахунку та експерименту.

Останніми роками почали проводитися дослідження, присвячені вивченню напружено-деформованого стану залізобетонних складених конструкцій із

податливими швами зсуву – роботи Х. З. Баширова, Г. К. Біджосяна, В. М. Бондаренка, Д. В. Казакова, М. І. Карпенка, С. М. Карпенка, Н. В. Ключової, В. І. Колчунова, Р. С. Санжаровського, В. С. Федорова, М. В. Усенка, І. А. Яковенка та ін.).

Підсилені залізобетонні конструкції останніми роками стають одними з актуальних в області залізобетону.

Розробкою теоретичних основ розрахунку і проектування посилюваних конструкцій займалися багато учених (Д. О. Астаф'єв, В. М. Бондаренко, О. Б. Голишев, С. М. Карпенко, В. І. Колчунов, А. І. Мальганов, Р. С. Санжаровський, В. С. Плевков, В. М. Першаков, І. А. Яковенко та ін.).

У роботах В. М. Бондаренка, О. Б. Голишева, В. І. Колчунова звернено увагу на досить істотні ефекти напружено-деформованого стану, які відбуваються у залізобетоні в результаті порушення його суцільності, які пояснюють фізичний сенс багатьох явищ, помічених у дослідях.

Розробка скінченно-елементної моделі залізобетону у розрахунку плосконапружених залізобетонних складених конструкцій (ПЗСК) із урахуванням нелінійної деформації досягла досить високого рівня, тому побудову методики розрахунку жорсткості ПЗСК доцільно орієнтувати на використання найбільш досконалих програмних комплексів і в першу чергу ПК "Ліра-САПР". При цьому потрібний адекватний облік характеру розвитку і розкриття у них тріщин.

Проведений аналіз вказує на те, що у теперішній час розроблені наступні моделі тріщин у залізобетоні, які можуть бути використані в програмних комплексах: модель З. П. Бажанта (ендохронна теорія), модель В. М. Остаховича з використанням еквівалентного шарніра між скінченними елементами, модель Є. М. Морозова із залученням ізопараметричних скінченних елементів, модель С. Л. Цифанського (кусково-лінійна модель), модель Г. В. Єрмакової із залученням додаткових скінченних елементів) та ін.

Ґрунтуючись на існуючих і спираючись на власні експериментальні дослідження, виконаний аналіз можливих схем розвитку і розкриття тріщин плосконапружених залізобетонних складених конструкцій.

Власним експериментальним дослідженням присвячений **другий розділ** дисертаційної роботи.

Для уточнення класифікації тріщин, перевірки запропонованої методики розрахунку і покладених до її основи робочих гіпотез були виконані експериментальні дослідження плосконапружених залізобетонних складених конструкцій, із визначення картини тріщиноутворення для тріщин різних видів, віялоподібно прилеглих до вантажу і до опори, плоского деформування бетону (особливу увагу приділено деформованому стану в околиці шва) за різним характером армування та класах бетону.

Програма досліджень включала випробування шести серій плосконапружених залізобетонних складених конструкцій, табл. 1. На рис. 1 наведені дослідні конструкції.

В експерименті було передбачено чотири групи електротензорезисторів.

Об'єм, серії і характеристики основних експериментальних зразків

№ серії	Шифр зразка	h , мм	b , мм	l , мм	Арматура нижньої частини балки-стілки, діаметр – мм, клас	Арматура верхньої частини балки-стілки, діаметр – мм, клас	Висота шару першого бетону, мм	Висота шару другого бетону, мм	Клас першого бетону	Клас другого бетону
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	ІБО30	250	100	500	2Ø12A500C	2Ø12A500C	250	0	B30	B30
II	ІБО30	250	100	500	4Ø12A500C	2Ø12A500C	250	0	B30	B30
III	ІІБС30–30	250	100	500	2Ø12A500C	2Ø12A500C	210	40	B30	B30
IV	ІІІБС30	250	100	500	4Ø12A500C	2Ø12A500C	180	70	B30	B30
V	VБС30–40	250	100	500	4Ø12A500C	2Ø12A500C	180	70	B30	B40
VI	VІБС30–20	250	100	500	4Ø12A500C	2Ø12A500C	180	70	B30	B20

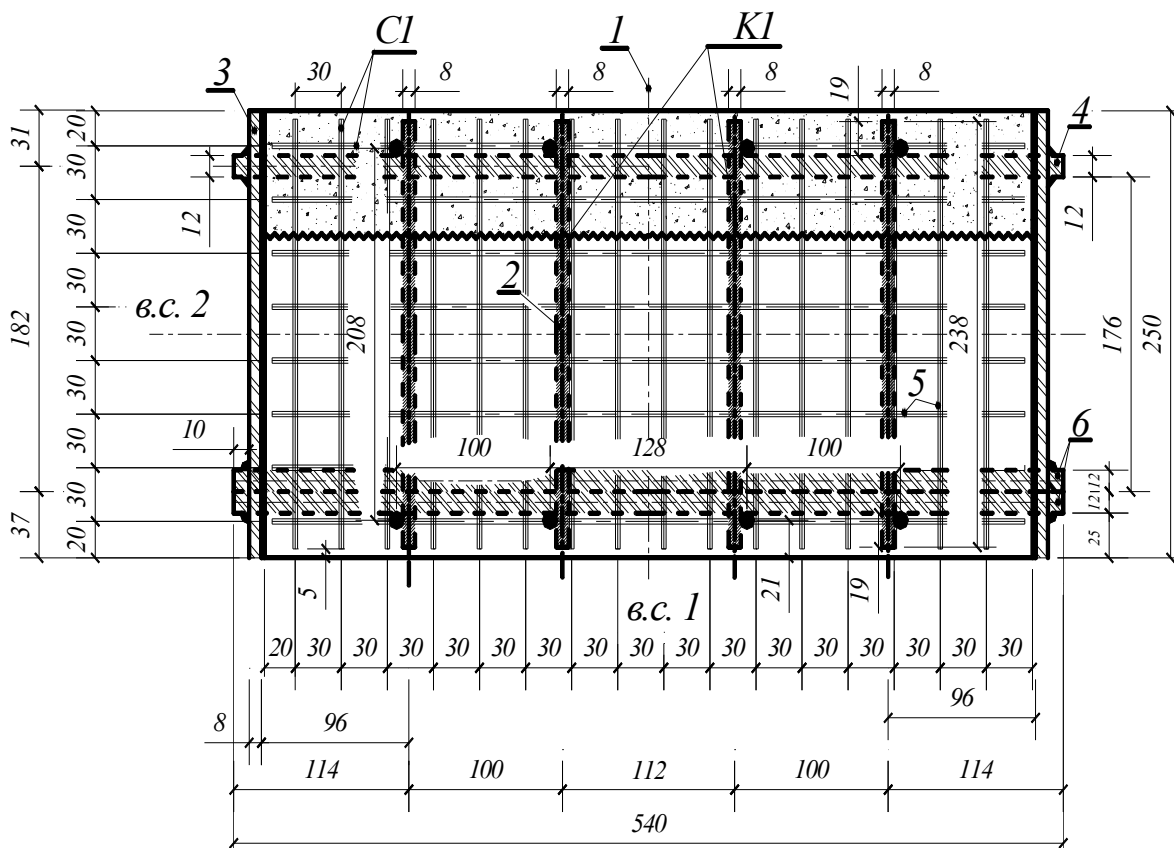


Рис. 1. Конструкція експериментальних залізобетонних складених балок-стінок: 1 – вертикальна вісь симетрії зразка; 2 – поперечна арматура діаметром 8 мм, класу А240С; 3 – пластина, товщиною 8 мм, приварена до повздовжньої робочої арматури; 4 – повздовжня арматура, розташована у верхній частині балки-стілки, діаметром 12 мм, класу А500С; 5 – арматурні сітки діаметром 3 мм, з розмірами комірки 30×30 мм; 6 – повздовжня арматура, розташована у нижній частині балки-стілки, діаметром 12 мм, класу А500С

Перша група встановлювалася за висотою поперечного перерізу дослідних конструкцій, на фібрових волокнах, у місцях переходу від подовження до укорочення, а також у зонах, прилеглих до шва з обох сторін. Для забезпечення надійності передбачалися два ланцюги електротензорезисторів, які розташовані в двох (симетричних) перерізах.

Друга група – розетки, встановлені на бетон у прилеглих до шва шарах першого і другого шарів бетону. Метою їхнього встановлення є дослідження складного напружено-деформованого стану у цих шарах.

Третя група – електротензорезистори, встановлені на бетон на берегах тріщин (після їхньої появи на рівні вісі арматури за допомогою клею "Циакрин-90"). Призначення цієї групи електротензорезисторів полягало у необхідності заміру дослідних деформацій бетону на рівні вісі арматури у безпосередній близькості від тріщини, де проявляється ефект порушення суцільності в залізобетоні.

Четверта група електротензорезисторів (встановлення розеток на бетонні і залізобетонні призми $400 \times 100 \times 100$). Розетки встановлювалися по 2 ланцюгам із кожного боку шва аналогічно другій групі в основних конструкціях.

Робота електротензорезисторів (де це було можливо) дублювалася за допомогою механічних приладів (із ціною ділення $0,001\text{мм}$). Для заміру максимальних прогинів встановлювалися прогиномири (з ціною ділення $0,01\text{мм}$).

Картина появи і розвитку тріщин у масштабі 1:1 наносилася на спеціальні планшети з вимірюванням розвитку і ширини розкриття тріщин уздовж усього профілю за допомогою мікроскопа. Виконаний аналіз картин тріщиноутворення, розвитку і розкриття тріщин (рис. 2), який підтверджує наявність двох віял похилих тріщин, прилеглих до вантажу і до опори, багаторівневий процес їхньої появи і наявність деформаційного ефекту, пов'язаного з порушенням суцільності залізобетону.

Аналіз дослідних залежностей "*Вертикальне навантаження – прогин*", плосконапружених залізобетонних складених балок-стінок показує (рис. 3), що зі збільшенням висоти підсилення бетону з 40 до 70 мм і збільшення відсотка армування з 1,113% до 2,16 % величина прогинів збільшується у 2,4 рази. При цьому якщо відмінність між розрахунковими та експериментальними даними у середині дослідної конструкції є незначною (вони розрізняються лише 10%), то в зоні проекції похилих тріщин вона може досягати 30% й більше (рис. 3).

Побудові методики розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій присвячений **третій розділ** дисертаційних досліджень.

На підставі поглибленого дослідження природи і характеру тріщиноутворення запропонована нова класифікація базових тріщин у плосконапружених залізобетонних складених конструкціях, в основу якої покладена геометрична, силова (деформаційна) і міжсередовищна концентрація напружено-деформованого стану з відповідними джерелами-концентраторами. Побудова методики розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій базується на наступних **робочих передумовах**:

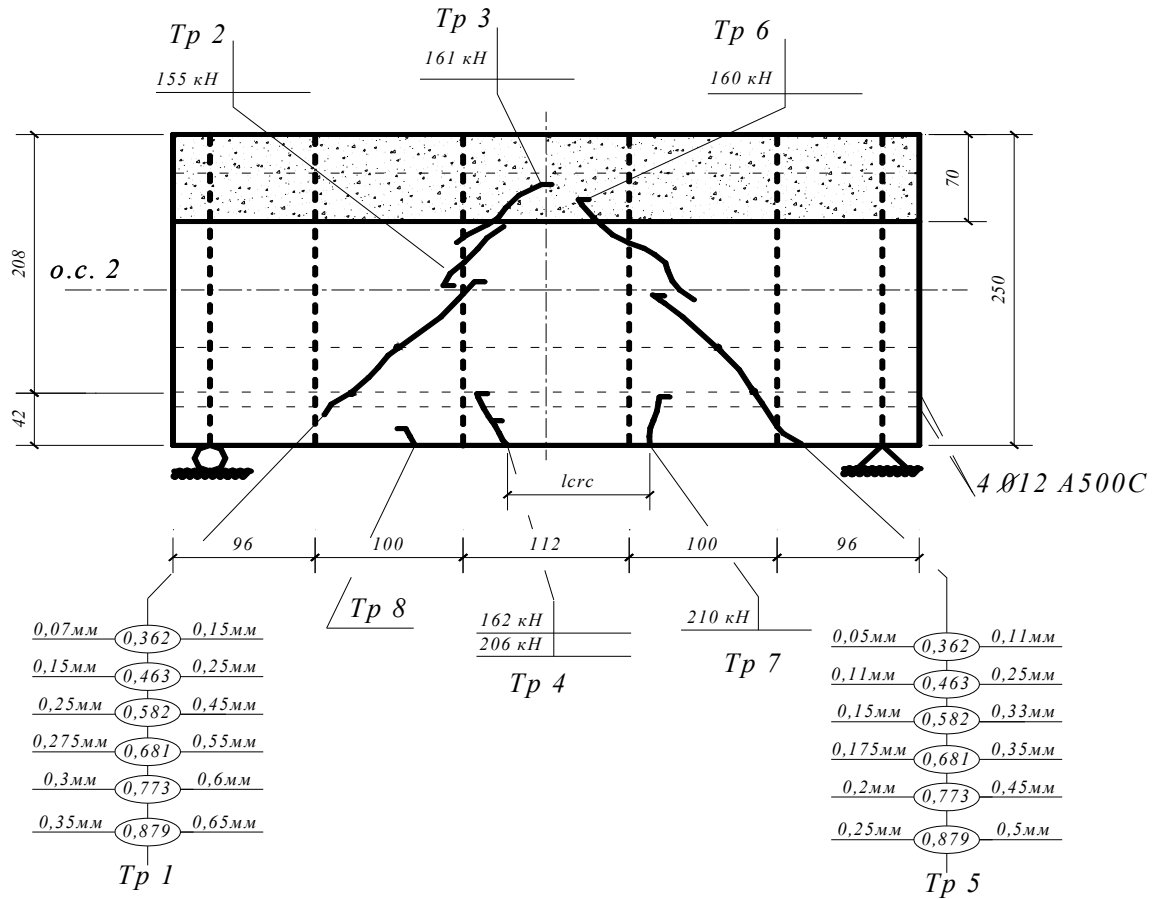


Рис. 2. Картини розвитку і розкриття тріщин у балці-стілці шостої серії VIБС30-20 (в овалі вказано відношення поточного навантаження до руйнівного; ліворуч – ширина розкриття тріщин у мм)

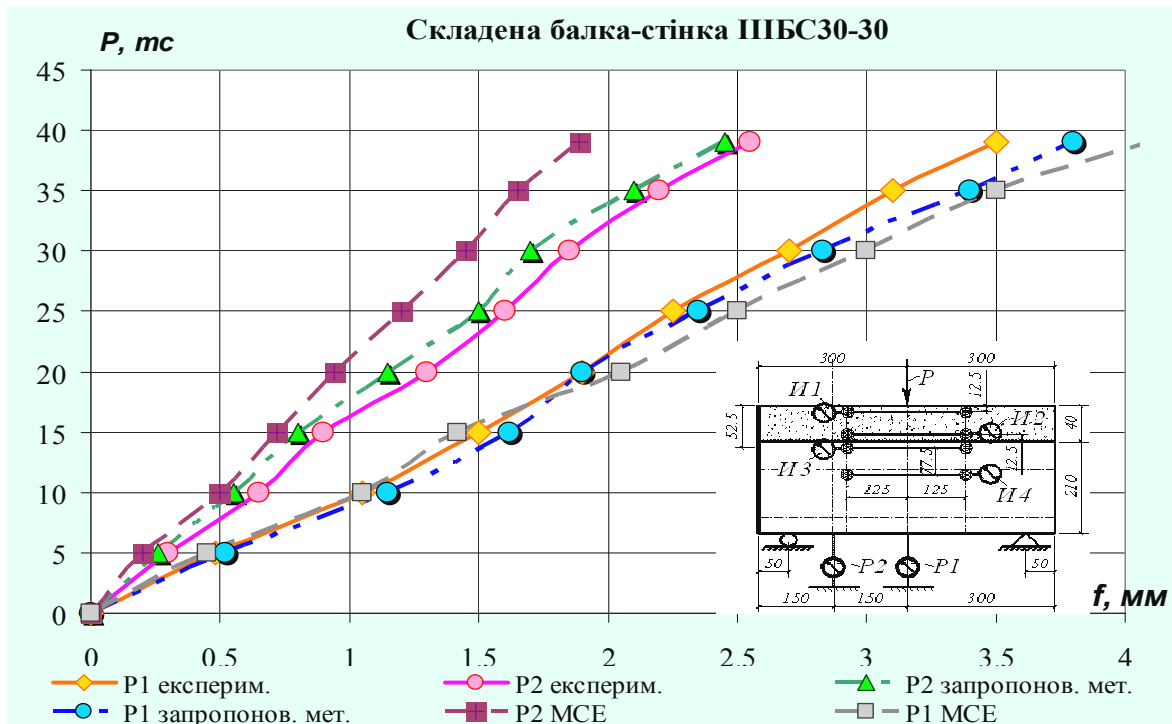


Рис. 3. Графіки залежностей "Вертикальне навантаження – прогин", отримані за показами прогиномірів (0,01 мм) у плосконапруженій конструкції балки-стілці ІІБС30-30 складеного перерізу третьої серії

1. Утворення наступного рівня тріщин відбувається після досягнення розтягнутими волокнами бетону вздовж осі поперечної (поздовжньої) арматури граничних деформацій $\varepsilon_{b,u}$. Рівнів тріщиноутворення може бути декілька. Розвиток різних тріщин у плосконапружених залізобетонних складених конструкціях відбувається за траєкторіями, які наближаються до прямих ліній.

2. Розкриття тріщин розглядається як накопичення відносних взаємних зміщень арматури і бетону на ділянках, розташованих по обидві сторони від тріщини; при цьому враховується ефект, зв'язаний із порушенням суцільності бетону.

3. Вводиться класифікація базових тріщин. У плосконапружених залізобетонних складених конструкціях можуть мати місце такі **базові тріщини**: 1) тріщини, які розвиваються до зон або із зон геометричної концентрації напружено-деформованого стану (у місцях зміни розмірів поперечних перерізів, вхідні кути концентрації, концентрація від некруглих отворів і т.п.); 2) тріщини, які розвиваються до зон або із зон концентрації силового і деформаційного навантаження (місця розташування опорних реакцій і зосереджених сил, місця зміни інтенсивності навантаження за контуром конструкції, місця деформаційного навантаження від просадок; особливе значення має вид навантаження — згинальне, зсувне, стиск — розтяг); 3) поздовжні тріщини, які розвиваються у зонах міжсередовищної концентрації деформацій (у швах між бетонами в плосконапружених залізобетонних складених конструкціях, уздовж поздовжньої арматури у зонах анкерування і т. п.).

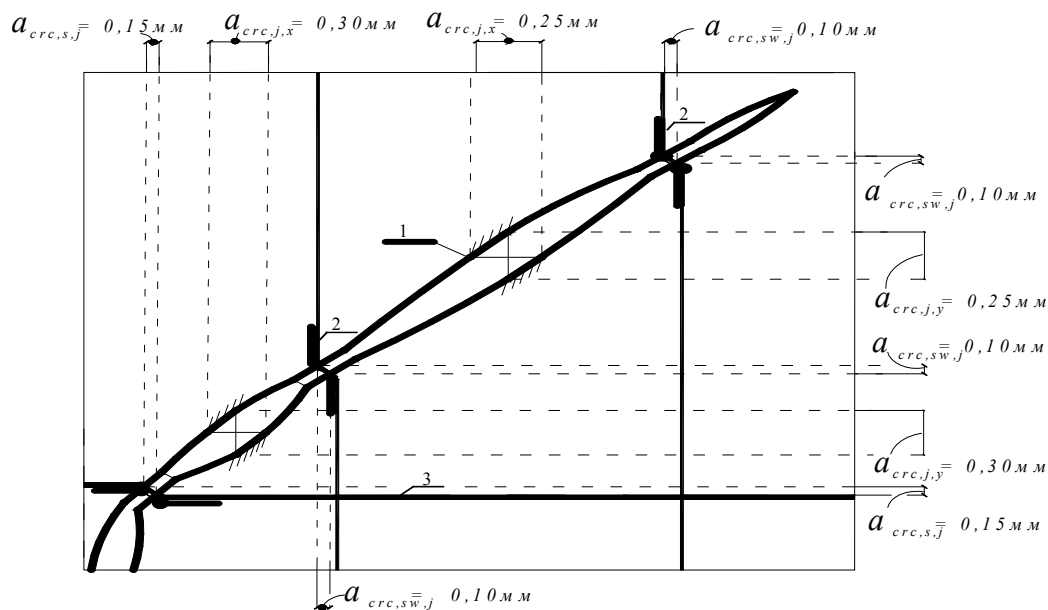
У практиці будівництва (наприклад, у складних інженерно-геологічних умовах) найбільш часто зустрічаються схеми силового і деформаційного навантаження, які, як правило, викликають накладання різних тріщин.

4. Дійсна тріщина замінюється запропонованою моделлю (рис. 4) за допомогою «розшивання» скінченних елементів (СЕ) у ПК «Ліра-САПР» і деформаційного впливу $\Delta = a_{crc,j}$ вздовж профілю тріщини (врахування ефекту порушення суцільності виконується як за допомогою введення особливого профілю тріщини, так і з допомогою формули для визначення ширини розкриття тріщин).

5. До розрахунку залучається спеціальна розрахункова двохелементна консольна модель (рис. 5), за допомогою якої виконується послідовний ітераційний аналіз напружено-деформованого стану плоских консольних елементів, розташованих за траєкторією тріщини, реалізований за допомогою «розшивання» і деформаційного впливу, який враховує ефект порушення суцільності бетону.

6. До розрахунку залучається спеціальна розрахункова двохелементна консольна модель, яка дозволяє визначити параметри шва ($G(\lambda)$, $E(\lambda)$, $\mu(\lambda)$ у двох рядах дрібно розмірних СЕ, прилеглих до шва) між шарами бетону, спираючись на експерименти зсуву шва призм із різним бетоном, в тому числі з арматурними стрижнями у шві (рис. 6). При цьому для визначення напружено-деформованого стану плосконапружених скінченних елементів, прилеглих до шва, залучаються можливості обчислювального комплексу «Ліра-САПР».

а)



б)

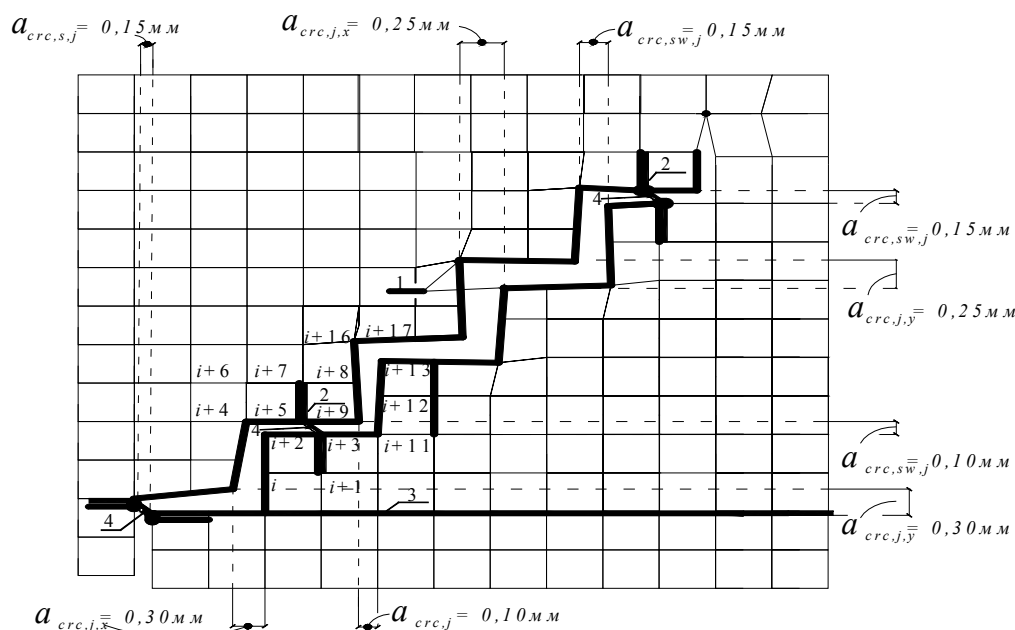


Рис. 4. Запропонована модель тріщини: а – дійсна тріщина; б – модельована за допомогою «розширення» СЕ та деформаційного впливу $\Delta = a_{crc,j}$;

1 – тріщина; 2 – поперечна арматура та її моделювання за допомогою 201 СЕ, 3 – поздовжня арматура та її моделювання за допомогою 201 СЕ; 4 – можливе закриття тріщини та його моделювання за допомогою 255 СЕ

7. Проекції різних тріщин на горизонталь (вертикаль) відшукуються на основі блокової моделі з розрахунковими поперечними перерізами І–І і ІІ–ІІ, які проходять через початок і кінець тріщини (уточнюються в процесі ітерацій; один із цих перерізів, як правило, прив'язується до найбільшої сили – опорної реакції R_{sup} або виходить на одну з граней конструкції) із залученням

аналітичних залежностей, які базуються на екстремумі функції багатьох змінних і множників Лагранжа.

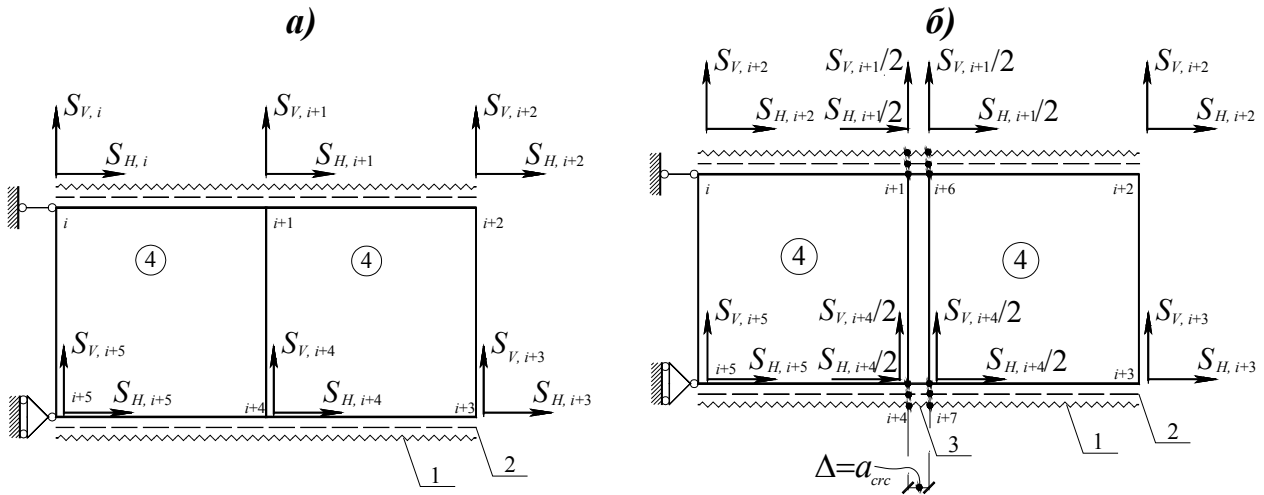


Рис. 5. Побудова двохелементної моделі: а – розрахункова схема двохелементної моделі без «розширення»; б – розрахункова схема двохелементної моделі після «розширення»; 1 – 255 СЕ до «розширення»; 2 – 201 СЕ; 3 – 255 СЕ після «розширення»; 4 – 233 КЭ

8. У плосконапружених залізобетонних складених конструкціях має місце багаторівневий процес розвитку різних тріщин, який визначається спеціальними розрахунковими моделями (рис. 7) їхньої рівневої появи, що дозволяють відшукувати відстані між тріщинами та ширину їхнього розкриття з урахуванням ефекту порушення суцільності.

$$\begin{aligned} \text{При цьому} \quad \varepsilon_{bt}(y) &= \sigma_{sw} A_{sw} \cdot \frac{1}{D'_{13}} - \sigma_{sw}(y) A_{sw} \cdot \frac{1}{D'_{13}} + \frac{D'_{14}}{D'_{13}} \cdot y + \frac{D'_{15}}{D'_{13}} = \\ &= \varepsilon_{sw} \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D'_{13}} - \varepsilon_{sw}(y) \cdot E_{sw} \cdot A_{sw} \cdot \frac{1}{D'_{13}} + \frac{D'_{14}}{D'_{13}} \cdot y + \frac{D'_{15}}{D'_{13}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де параметри $D'_1 \dots D'_{12}$ виражаються у вигляді функцій від зусиль у перерізах, які вирізують вельми представницький об'єм (рис. 7), параметрів бетону, армування і зчеплення.

Спираючись на робочі передумови, проекція похилої тріщини визначається з умови екстремуму функцій багатьох змінних $F_{1,2} = f(q_{sw}, x_B, \sigma_s, x, \sigma_b, \sigma_{s,l}, \sigma_{b,l}, C_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7)$ і $F_3 = f(q_{sw}, x_{B,2}, \sigma_{s,3}, c_2, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, відповідно, та витікаючих із цієї умови рівності нулю часткових похідних:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial x_1} + \lambda_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_1} + \lambda_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial x_1} + \dots + \lambda_m \frac{\partial \varphi_m}{\partial x_1} &= 0 \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} + \lambda_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_2} + \lambda_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial x_2} + \dots + \lambda_m \frac{\partial \varphi_m}{\partial x_2} &= 0 \\ \dots &\dots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} + \lambda_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial x_n} + \lambda_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial x_n} + \dots + \lambda_m \frac{\partial \varphi_m}{\partial x_n} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

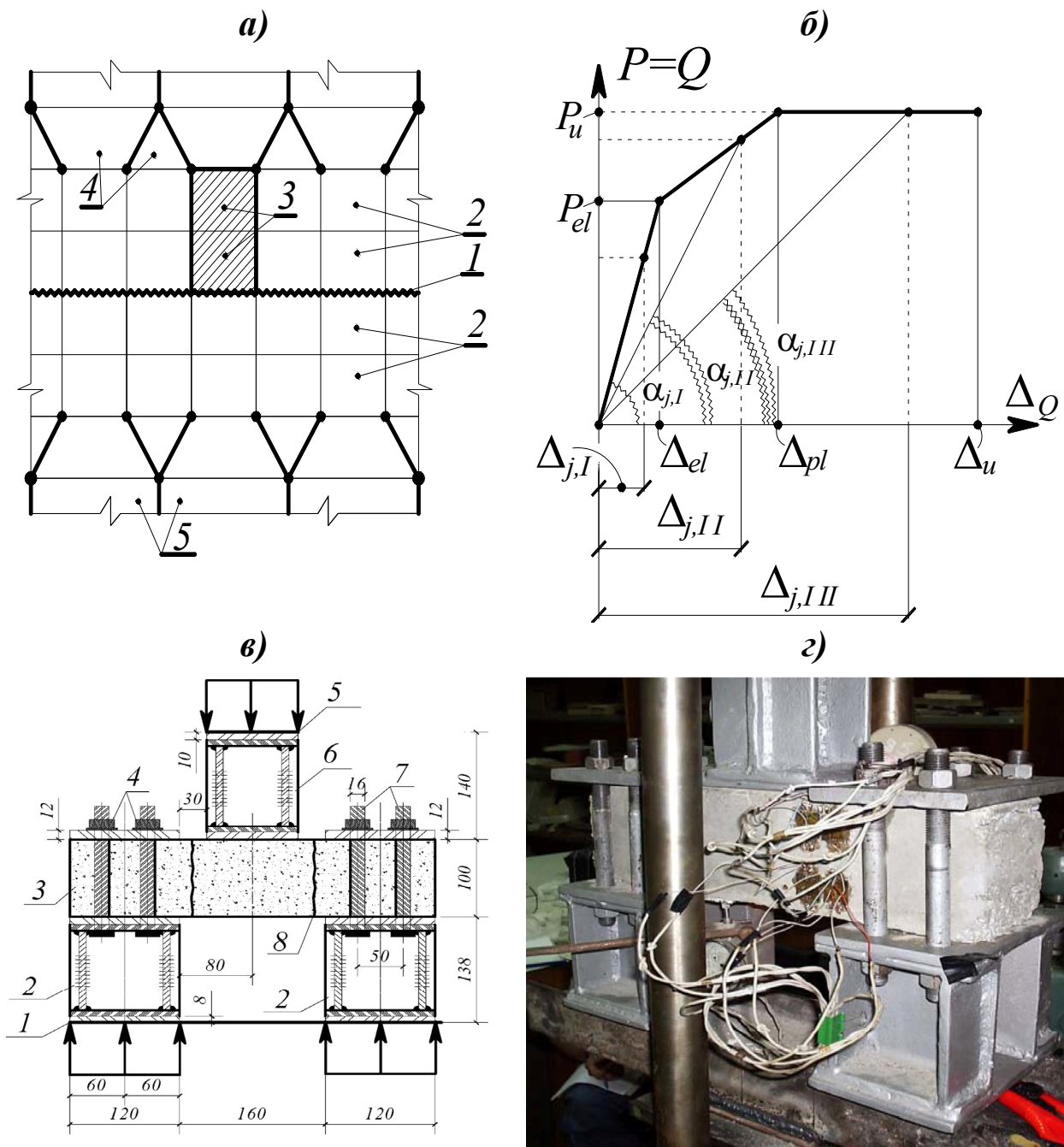


Рис. 6. Моделювання шва між бетонами: а – організація двох рядів дрібнорозмірних скінченних елементів, прилеглих до шва та виділення двохелементної моделі; б – діаграма $Q-\Delta_Q$, отримана на підставі експериментальних досліджень складених призм ($\mu_l = 0,2$; $\mu(\lambda)_{II} = 0,35$, $\mu(\lambda)_{III} = 0,5$); в – експериментальні дослідження податливості шва з використанням складених призм; г – загальний вигляд складених призм зі встановленими мембранними розетками

У результаті отримана формула:

$$(k'_1 k'_2 k'_{21} + k'_1 k'_{21} + k'_1 k'_{23}) C_2^2 + C_2 + k'_1 k'_{22} - k'_1 k'_2 k'_{21} = 0. \quad (3)$$

Параметри k'_1 , k'_2 , $k'_{21} - k'_{23}$ залежать від геометричних характеристик залізобетонних складених конструкцій, геометричних і механічних

характеристик бетону та арматури, параметрів зчеплення, параметрів напружено-деформованого стану розрахункових перерізів I–I і II–II, які проходять через початок і кінець похилої тріщини, відповідно – S , B' , $B'_{a,1}$, $B'_{a,2}$, A_{sw} , E_{sw} , q_{sw} , $q_{sw,hor}$, $Q'_{s,3}$, h_0 , τ_b , x , $x_{B,2}$, σ_b , σ_s , $\sigma_{s,1}$, $\tau_{xy,2}$, a , b , R_{sup} , $A_{s,i}$, α , ψ_s , v_b .

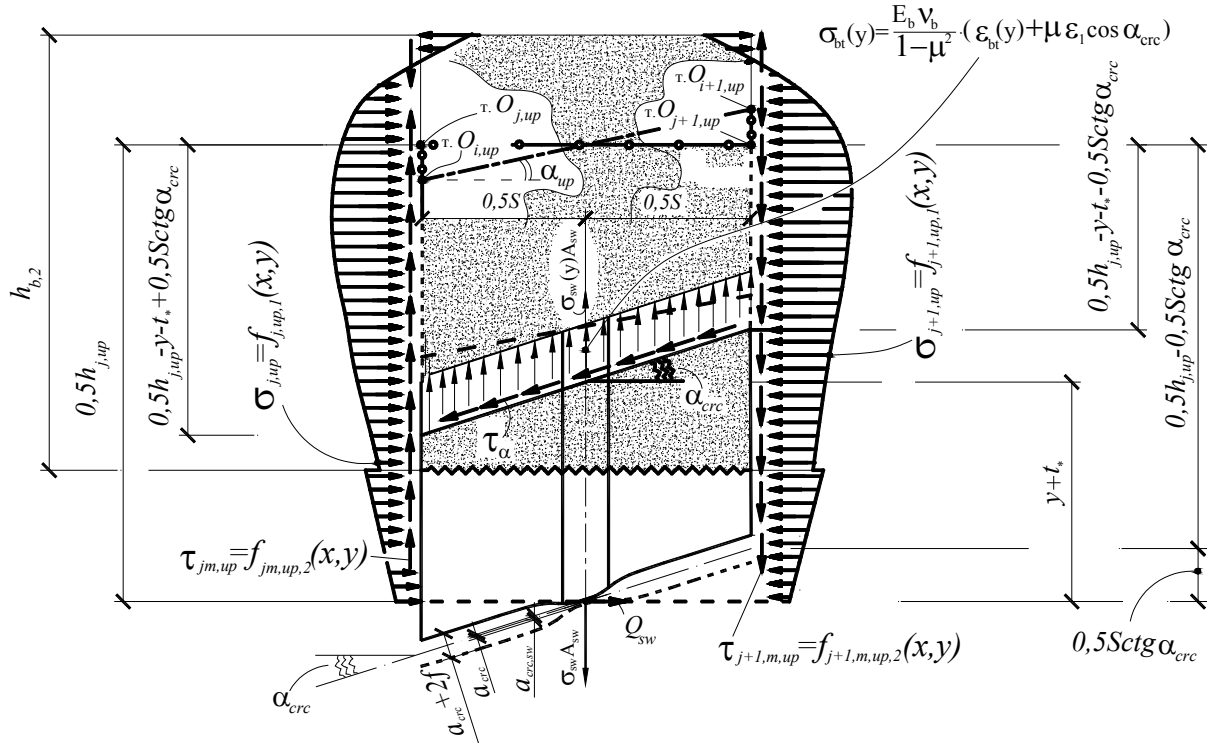


Рис. 7. Рівнева модель для визначення деформацій розтягнутого бетону $\varepsilon_{bt}(y)$ вздовж осі поперечної арматури i -го рівня утворення різних тріщин, відстані між ними та ширини їхнього розкриття у залізобетонній складеній конструкції

Після відшукування різних тріщин і визначення деформацій в бетоні вздовж осі поперечної і поздовжньої арматури, можна відповідно до робочих гіпотез, переходити до розрахунку ширини розкриття похилих тріщин.

При цьому відносні взаємні зміщення деформацій бетону і арматури $\varepsilon_g(y)$ на ділянці між похилими тріщинами у плосконапружених залізобетонних складених конструкціях визначаються з використанням розрахункових схем i -го рівня, які вирізають вельми представницький об'єм бетону довжиною Δx , сумірною з відстанню між хомутами (рис. 7):

$$\varepsilon_g(y) = \varepsilon_{sw}(y) - \varepsilon_{bt}(y). \quad (4)$$

Після підстановки відносних деформацій поперечної (поздовжньої) арматури $\varepsilon_{sw}(y)$ і відносних деформацій розтягнутого бетону $\varepsilon_{bt}(y)$ у рівняння (4), отримаємо

$$\frac{d\varepsilon_g(y)}{dy} + B'\varepsilon_g(y) = \frac{D'_{14}}{D'_{13}}. \quad (5),$$

де D'_{13} – функція від: $S; b; E_b; v_b; \mu_b; \alpha_{crc}$; D'_{14} – функція від $S; b; E_b; v_b; \mu_b; \alpha_{crc}$; $h_{j,up}; h_{j+1,up}; Q'_{j,up}; Q'_{j+1,up}; M'_{j,up}; M'_{j+1,up}; I_{m,up}$.

Із рішення цього диференціального рівняння, зважаючи на першу робочу гіпотезу, відшукуються відстані між тріщинами наступного рівня вздовж осей поперечної (поздовжньої) арматури,

$$l_{crc} = \frac{2(\ln B'_4 - B't_*)}{-B'}, \quad (6)$$

де параметри B' , B'_2 , B'_3 , B'_4 виражають у вигляді функцій від граничних деформацій подовження бетону, параметрів, які враховують ефект порушення суцільності (через $\sigma_{bt,c}$ і ΔT , – напруження стиску і результуюча умовного дотичного напруження в місцевій зоні, прилеглій до тріщини (відшукуються відповідно до пропозицій В. М. Бондаренка та В. І. Колчунова), геометричних параметрів, параметрів зчеплення, арматури, бетону.

На підставі другої робочої передумови, після інтеграції і алгебраїчних перетворень, отримаємо формулу для визначення ширини розкриття похилих тріщин у плосконапружених залізобетонних складених конструкціях –

$$a_{crc} = -\frac{2\Delta T}{G} - \frac{2B'_{a,2}}{B'} - \frac{2B'_2}{B'} \ln \left(1 + \frac{B'_{a,2} \cdot A_{sw} E_{sw}}{q_{sw} S + B'_{a,1} A_{sw} E_{sw}} \right), \quad (7)$$

де G – умовний модуль деформацій зчеплення арматури з бетоном; S – периметр поперечного перерізу арматури; ε_s – деформації арматури в тріщині; A_{sw} – площа поперечного перерізу хомутиків; інші параметри аналогічні тим, що і у формулі (6).

Алгоритм за запропонованою методикою розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій із залученням програмного комплексу ПК "Ліра-САПР" розглянутий у двох варіантах.

Перший варіант виконується без зміни заданого порядку і номерів плоских СЕ. У СЕ, прилеглих до неявних тріщин, зменшується їхня товщина. Робота кожної пари СЕ обчислюється двічі з використанням двохелементної консольної моделі (рис. 5): до «розшивання» СЕ (W_I) і після «розшивання» СЕ від розкриття тріщин із урахуванням ефекту порушення суцільності (при цьому польове армування замінюється двома стрижневими фібровими СЕ). Зусилля у вузлах ДСМ визначаються з нелінійного розрахунку усієї плосконапруженої конструкції. Переміщення вузлів визначаються із розрахунку ДСМ із прикладеними у вузлах зусиллями (рис. 5). У результаті нова товщина СЕ, прилеглих до тріщини, визначається за формулою: $b_i = (W_I/W_i)b_I$. Алгоритм розрахунку припускає наявність ітераційного процесу, регульованого досягнутою точністю товщини вказаних СЕ.

За другим варіантом жорсткість плосконапружених залізобетонних складених конструкцій визначається з використанням спеціального прийому моделювання явних тріщин-щілин при їхньому розкритті і закритті (рис. 4, б), з урахуванням ефекту порушення суцільності і неспільності деформацій бетону та арматури. Арматурні стрижні моделюються додатковими 201 СЕ, а можливе закриття тріщини – бетонними 255 СЕ.

Четвертий розділ дисертації присвячений чисельним дослідженням.

Детально розглянуто реалізацію алгоритму у вигляді прикладу розрахунку з використанням майстру математичних електронних таблиць розрахунку *Excel* і програмного комплексу "Ліра-САПР".

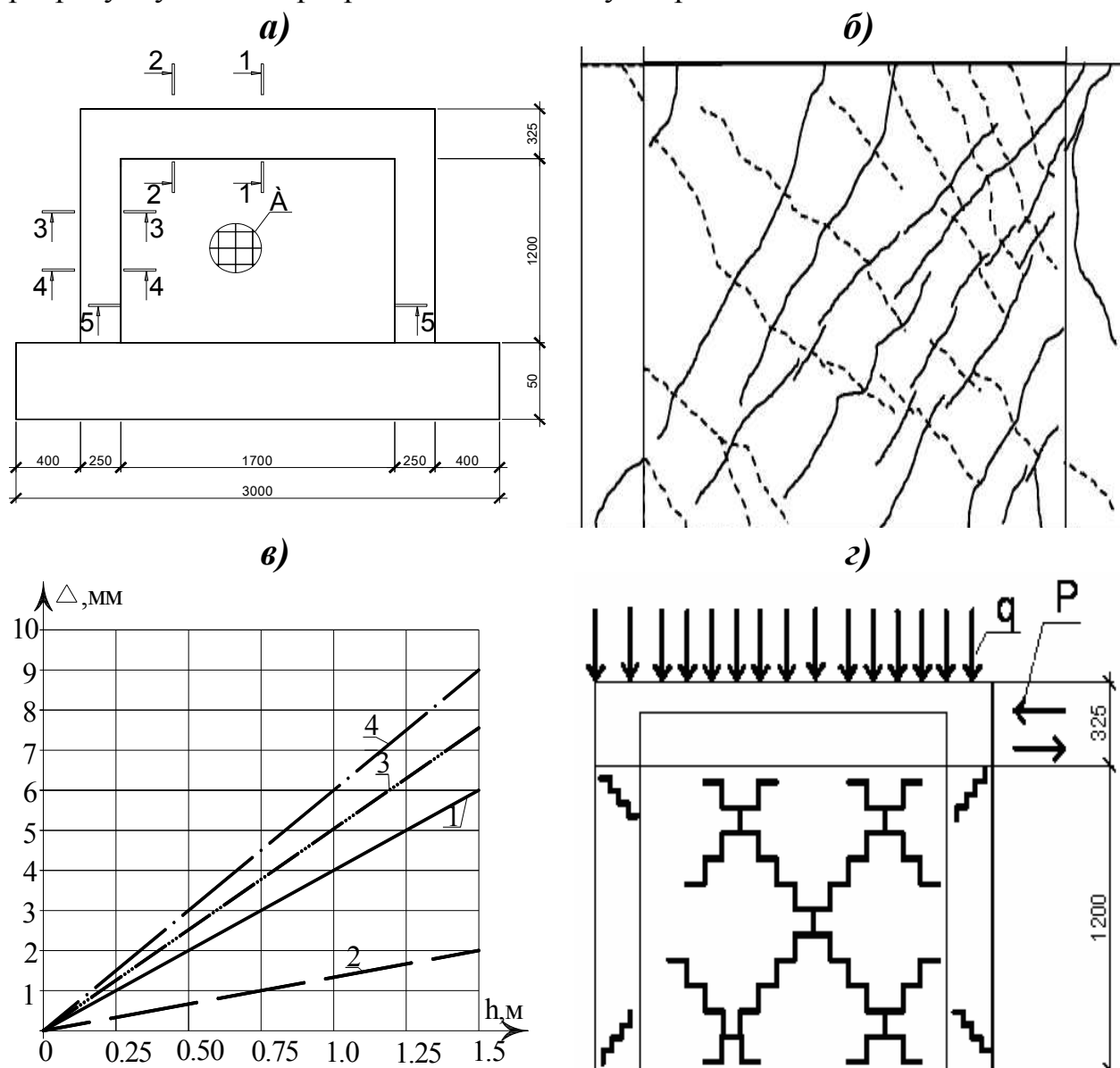


Рис. 8. Чисельний і порівняльний аналіз експериментальних досліджень залізобетонної балки-стілки, оконтуреної залізобетонною рамою:
 а – схема конструкції; б – експериментальна схема тріщин; в – графіки залежностей горизонтальних переміщень залізобетонної діафрагми від висоти;
 г – моделювання тріщин; 1 – експериментальні дослідження;
 2 – фізично-нелінійний розрахунок без урахування щілин;
 3 – те ж, за запропонованою методикою; 4 – те ж, із урахуванням щілин

Аналіз показує, що у середині прольоту плосконапруженої залізобетонної складеної балки-стілки, результати розрахунків як за запропонованою методикою, так і за МСЕ, яка використана в програмному комплексі ПК "Ліра-САПР", досить близько наближаються до експериментальних даних. У той же час у чвертях прольоту плосконапруженої залізобетонної складеної балки-стілки (якщо розрахунки за запропонованою методикою досить близько наближаються

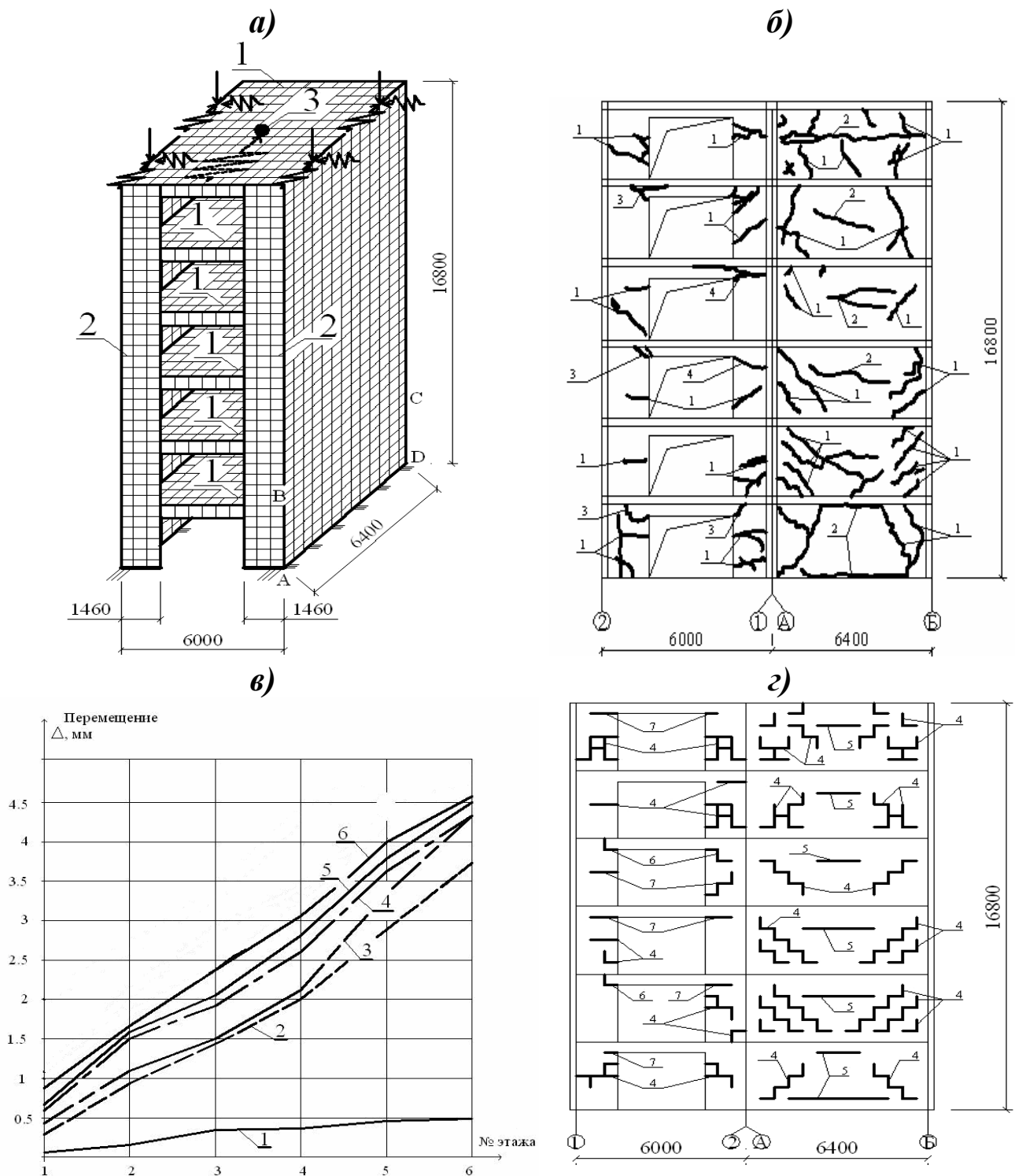


Рис. 9. Чисельний і порівняльний аналіз експериментальних досліджень монолітної безкаркасної будівлі за допомогою вібростани:

- а – розрахункова схема будівлі; б – експериментальна схема тріщин;
 в – графіки переміщень поверхів при динамічній дії вібростани вздовж осі у;
 г – моделювання тріщин;
 1 – лінійний динамічний (Ліра); 2 – нелінійний статичний (Ліра);
 3 – нелінійний динамічний (Ліра); 4 – експериментальний;
 5 – з похилими тріщинами за нелінійним статичним розрахунком (запропонована методика); 6 – з похилими тріщинами за нелінійним динамічним розрахунком (запропонована методика)

до експериментальних даних), розрахунки за МСЕ у зоні проекції похилої тріщини мають істотну відмінність (до 45 %, див. рис. 3 – "P2 експерим." – експериментальна крива в точці P2 і "P2 МСЕ" – пунктирна крива, отримана за МСЕ в точці P2) від дослідних даних. Отриманий результат вказує на те, що запропонована методика значно ближче наближається до дійсності за оцінкою жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій.

Виконаний чисельний і порівняльний аналіз експериментальних досліджень залізобетонної балки-стілки, оконтуреної залізобетонною рамою (рис. 8) при знакозмінних навантаженнях, показує, що фізично-нелінійний розрахунок, виконаний за запропонованою методикою, з уточненими жорсткостями, дозволяє істотно (до 12%) наблизити проаналізовані переміщення до їхніх дійсних експериментальних значень.

Виконаний чисельний і порівняльний аналіз експериментальних досліджень монолітної безкаркасної будівлі за допомогою вібростани (рис. 9), із аналізом картини тріщиноутворення і переміщення будівлі, який вказує на те, що дуже близький збіг із експериментом до 85% дає запропонована методика з урахуванням фізичної нелінійності, реалізованої в ПК "Ліра-Pro".

Таким чином, запроповану методику можна рекомендувати для практичного застосування при ефективному проектуванні плосконапружених залізобетонних складених конструкцій та їх систем. Резюмуючи виконане співставлення, слід зазначити, що запропонована методика не лише якісно (з реалізацією багаторівневої схеми тріщиноутворення) підтверджує отримані з дослідів переміщення, але й кількісно: середнє квадратичне відхилення у накопиченій дослідній вибірці не перевищує 9,43%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Основний результат дисертаційної роботи, – рішення важливої науково-технічної задачі побудови розрахункової методики жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій на підставі проведених експериментально-теоретичних досліджень.

1. У зв'язку з широким застосуванням плосконапружених залізобетонних складених конструкцій (ПЗСК) (несучі стіни займають 40% загального обсягу залізобетону) задача визначення їхньої жорсткості з тріщинами практично залишилася невивченою, тому її розробка стає нагальною потребою, яка входить до числа найважливіших проблем капітального будівництва.

2. Розробка скінченно-елементної моделі залізобетону при розрахунку ПЗСК із урахуванням нелінійного деформування досягла досить високого рівня, тому побудову методики розрахунку жорсткості ПЗСК доцільно було орієнтувати на використання найбільш досконалих програмних комплексів і у першу чергу ПК «Ліра-Pro». При цьому необхідно адекватно враховувати в них характер розвитку і розкриття тріщин.

3. На основі аналізу та узагальнення експериментів розроблена нова розрахункова методика жорсткості ПЗСК, яка об'єднує формування різних тріщин за їхньою класифікацією, що включає моделювання тріщини з урахуванням ефекту порушення суцільності; двохелементні консольні моделі для аналізу опору вздовж траєкторії тріщини і вздовж шва між шарами бетону; розрахункову модель рівневої появи тріщин, яка дозволяє відшукувати відстані між тріщинами і ширину їхнього розкриття з урахуванням ефекту порушення суцільності і відображати багаторівневий процес розвитку тріщин; блокову розрахункову модель із повною картиною тріщин, їхньою проекцією на горизонталь у вигляді функції багатьох змінних і розрахунковими перерізами, для визначення напружено-деформованого стану яких залучаються можливості ПК «Ліра-САПР» з урахуванням ефекту порушення суцільності бетону, міжсередовищного збурення у шві між шарами бетону і несумісності деформацій бетону та арматури.

4. Розроблено методику експериментальних досліджень та отримані нові дані, які дають змогу перевірити запропоновану розрахункову методику ПЗСК, розкривають у низці випадків відмінність понад 33% теоретичних і дослідних значень переміщень; декількох рівнів появи тріщин; більш ніж у 1,6 рази збільшення ширини розкриття тріщин на віддаленні трьох діаметрів від осі арматури (з'ясовано, що електротензорезистори, встановлені на берегах тріщин уздовж осі арматури мали деформації укорочення, що вказує на виникнення порушення суцільності у бетоні).

5. Розроблено алгоритм розрахунку жорсткості ПЗСК за наявності різних тріщин із використанням можливостей ПК «Ліра-САПР». Порівняльний аналіз переміщень стінових конструкцій різного класу та виду бетону, на підставі наявних дослідних даних при різному навантаженні та армуванні, показує помітні переваги розробленої методики розрахунку жорсткості ПЗСК та підтверджує її ефективність ($C_r=9,43\%$, $X=1,0722$). Результати дисертаційної роботи використані при розробці державних нормативних документів ДБН В.1.1–12–2014 "Будівництво у сейсмічних районах України".

Список робіт, опублікованих автором за темою дисертації

1. Колчунов В. И. Специфика экспериментально-теоретических исследований сопротивления плосконапряженных железобетонных конструкций при деформационных воздействиях / В. И. Колчунов, Т. В. Шупик // Будівництво України. – 2008. – №4. – С. 29–35.

2. Численный анализ экспериментальных исследований железобетонной рамы со стеновым заполнением при знакопеременных нагрузках / [Колчунов В.И., Шупик Т.В., Яковенко И.А. и др.] // Будівництво України. – 2008. – № 7. – С. 38–43.

3. Численный анализ экспериментальных исследований фрагмента монолитного бескаркасного здания при динамических воздействиях

вибромашини / [Марьенков Н. Г., Бабик К. Н., Колчунов В. И. и др.] // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво) / ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. – К. : ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 561–571.

4. Численный анализ экспериментальных исследований железобетонной рамы со стеновым заполнением при сейсмических нагрузках / [Марьенков Н. Г., Гончар В. В., Недзведская О.Г. и др.] // Будівельні конструкції : міжвідом. наук.-техн. зб. наук. праць (будівництво) / ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. – К. : ДП НДІБК, 2012. – Вип. 76. – С. 529–539.

5. Колчунов В. І. Методика визначення жорсткості плосконапружених і стрижневих залізобетонних складених конструкцій при сейсмічних впливах / В. І. Колчунов, М. Г. Мар'єнков, К. В. Омельченко, Т. В. Тугай // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 50. – С. 286– 291.

6. Колчунов В. И. Методика экспериментальных исследований жесткости плосконапряженных железобетонных составных конструкций / В. И. Колчунов, И. А. Яковенко, Т. В. Тугай // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник – К. : КНУБА, 2014. – Вип. 52. – С. 178– 185.

7. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях / [Колчунов В. И., Марьенков Н. Г., Омельченко Е. В. и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – М. : 2014. – №2. – С. 12–15.

8. Колчунов В. И. Жесткость железобетонных конструкций на участках с наклонными трещинами / В. И. Колчунов, Е. В. Омельченко, Т. В. Тугай // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне, 2014. – Вип. 28. – С. 212–218.

9. Тугай Т.В. Основні результати експериментальних досліджень жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій / Т. В. Тугай // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. – Рівне, 2014. – Вип. 29. – С. 369–375.

10. Колчунов В. І. Методика визначення жорсткості плосконапружених і стрижневих залізобетонних складених конструкцій при сейсмічних впливах / В. І. Колчунов, М. Г. Мар'єнков, К. В. Омельченко, Т. В. Тугай // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2014. – №3. – С. 9–10.

11. Колчунов В. И. Расчет жесткости плосконапряженных стен с привлечением ПК «Лира-Про» по методике новых норм / В. И. Колчунов, Т. В. Тугай, И. А. Яковенко, Н. Г. Марьенков, // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. збірник – К. : КНУБА, 2014. – Вип. 53. – С. 209– 221.

12. Колчунов В. И. Соппротивление плосконапряженных стен перекоосу при наличии диагональной трещины с привлечением программного комплекса «Лира-Pro» / В. И. Колчунов, Н. Г. Марьенков, Т. В. Тугай, И. А. Яковенко // Зб. наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – Вип. 1(43). – Т. 1. – С. 178–190.

АНОТАЦІЯ

Тугай Т. В. Методика розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди. – Національний авіаційний університет, Київ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена розробці методу розрахунку жорсткості плосконапружених залізобетонних складених конструкцій, що базується на запропонованій класифікації тріщин і робочих передумовах, які дозволяють істотно відкоригувати параметри жорсткості з урахуванням дійсних схем розвитку та розкриття різних тріщин, наявності збурень у шві між шарами бетону, несумісних деформацій бетону та арматури і ефект порушення суцільності бетону.

Проведені експериментальні дослідження з відшукування переміщень для вивчення жорсткості, обумовленої наявністю різних тріщин; ширини їхнього розкриття вздовж усього профілю тріщини; зміни відстані між тріщинами та довжини тріщин за мірою збільшення навантаження і т. ін.

Виконаний приклад реалізації розробленого алгоритму і співставлення запропонованої розрахункової методики з існуючими та власними дослідними даними, яка показує помітні переваги запропонованої методики (середнє квадратичне відхилення в накопиченій дослідній вибірці не перевищує 9,43%).

Ключові слова: плосконапружені залізобетонні складені конструкції, жорсткість, класифікація та моделі тріщин, ефект порушення суцільності, збурення у шві.

АННОТАЦИЯ

Тугай Т. В. Методика расчета жесткости плосконапряженных железобетонных составных конструкций. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения. – Национальный авиационный университет, Киев, 2015.

Диссертация посвящена разработке метода расчета жесткости плосконапряженных железобетонных составных конструкций, основанного на предложенной классификации трещин и рабочих предпосылках, которые позволяют существенно откорректировать параметры жесткости с учетом действительных схем развития и раскрытия различных трещин, наличия возмущений в шве между слоями бетона, несовместных деформаций бетона и арматуры и эффекта нарушения сплошности бетона.

Проведены экспериментальные исследования по отысканию перемещений для изучения жесткости, обусловленной наличием различных

трещин; ширины их раскрытия вдоль всего профиля трещины; изменения расстояния между трещинами и длины трещин по мере увеличения нагрузки и т. д.

Выполнен пример реализации разработанного алгоритма и сопоставления предложенной расчетной методики с существующими и собственными опытными данными, которая показывает заметные преимущества предложенной методики (среднее квадратическое отклонение в накопленной исследовательской выборке не превышает 9,43%).

Ключевые слова: плосконапряженные железобетонные составные конструкции, жесткость, классификация и модели трещин, эффект нарушения сплошности, возмущения в шве.

ABSTRACT

Tugay T. Method for rigidity calculating of flat-strained reinforced composite constructions. – Manuscript.

The thesis for obtaine the scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.23.01 – Building constructions, buildings and structures. – National Aviation University. – Kiev, 2015.

The thesis is devoted to developing the method of calculating the rigidity of flat-strained reinforced concrete composite constructions based on the proposed classification crack and working conditions that can significantly modify the parameters of hardness on the actual development schemes and disclosing various cracks, the presence of disturbances in the seam between the concrete incompatible strain of concrete and reinforcement and the effect of concrete discontinuity.

The relevance of the topic, scientific novelty and practical importance are substantiated in the introduction. Here is shown the general characteristics of the thesis.

The research works are analyzed in the **first section**. This works are carried out in the framework of the development of a methodology for calculating the rigidity of flat-strained reinforced composite constructions, including composite, based on which are justified the tasks of further researches.

The experimental studies of flat-strained reinforced composite constructions were performed to verify the proposed method of calculation and to its founding working hypotheses that are listed in **the second section**. The displacements are finding for the study of rigidity due to the presence of various cracks; the width of their opening along the entire profile of the crack; changing the distance between the cracks and length between cracks as the load increases (with verification of multi-level process of their formation), deformations of concrete on the crack along the main reinforcement for the effects of discontinuity and deformations of the concrete in the vicinity of the seam between concrete.

The **third section** is devoted to the construction methods for determining rigidity of reinforced concrete composite constructions, which takes into account the actual development schemes and disclosing various cracks, the presence of

disturbances in the seam between the concrete, the incompatibility of deformations of concrete and reinforcement and concrete effect of discontinuity.

The algorithm for calculating provides the building complete picture of the development and opening of cracks in accordance with the proposed classification; determining the distance between the cracks and the width of their disclosure, as the projection on a horizontal of base cracks.

The **fourth section** of the thesis is devoted to numerical studies and comparative analysis. The implementation example of the algorithm and the comparison of the proposed calculation method with existing and own experimental data were made. They show that the proposed method not only qualitatively (with the implementation of a multi-level scheme of cracking) confirms obtained displacement in experiments, but also quantitatively, – the standard deviation in the accumulated experimental sample don't exceed 9.43%.

Keywords: flat-strained reinforced composite constructions, rigidity, classification and models of cracks, effect of discontinuity, indignation in the seam.